

## НАУКОВІ ТА ПРАКТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

УДК 621.382.3

### ВЛАСТИВОСТІ АРСЕНІДУ АЛЮМІНІЮ-ГАЛІЮ В ІМПУЛЬСНОМУ РЕЖИМІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Саурова Т. А., Борс В. О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: [t.a.saurowa@gmail.com](mailto:t.a.saurowa@gmail.com); [borsvictoria555@gmail.com](mailto:borsvictoria555@gmail.com)

При розробці сучасних напівпровідникових пристроїв використовують багатокомпонентні напівпровідники, серед яких є потрібна сполука матеріалів групи  $A^m B^v$  арсенід алюмінію-галію  $Al_xGa_{1-x}As$ . Для  $Al_xGa_{1-x}As$  досліджено транспортні властивості у високих електричних полях. Однією з проблем є недостатня вивченість транспортних властивостей носіїв заряду в імпульсному режимі електричного поля.

Метою статті є теоретичне дослідження дрейфових процесів в арсеніді алюмінію-галію  $Al_xGa_{1-x}As$  (при  $x = 0.225$ ) в імпульсному режимі електричного поля.

Моделювання проведено на основі релаксаційних рівнянь збереження імпульсу, енергії та концентрації. Використовуючи дводолинну ГЛ-модель, розрахунки проведені для кожної долини окремо і усереднені з урахуванням їх заселеності. Досліджено найбільш типові механізми розсіювання електронів в арсеніді алюмінію-галію: домішкові (на нейтральних атомах і іонах домішки) і фононні (акустичні, оптичні та міждолинні). Проаналізовано температурну залежність швидкості розсіювання імпульсу та розраховано рухливість електронів. Показано, що результат моделювання рухливості добре узгоджується з експериментом.

Досліджено ефект «сплеску» дрейфової швидкості носіїв заряду. Для  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$  проведено чисельний експеримент щодо впливу параметрів імпульсу електричного поля (амплітуди напруженості поля, тривалості імпульсу і величини фронту) на дрейфову швидкість електронів. Показано, що стрибкоподібна зміна напруженості електричного поля призводить до короткотривалого збільшення швидкості дрейфу порівняно зі значенням у стаціонарному режимі поля. Більшій амплітуді стрибкоподібної зміни поля відповідає збільшення максимального значення дрейфової швидкості. Однак це супроводжується скороченням часу, протягом якого спостерігається ефект «сплеску». Тривалість імпульсу електричного поля не впливає на пікове значення швидкості дрейфу. Збільшення тривалості фронту імпульсу напруженості електричного поля призводить до суттєвого зменшення дрейфової швидкості.

Проведено порівняння пікових значень швидкості дрейфу та довжини «балістичного руху» електронів в  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$  та арсеніді галію  $GaAs$ .

**Ключові слова:** арсенід алюмінію-галію;  $AlGaAs$ ; імпульсні властивості; ефект «сплеску» дрейфової швидкості.

#### Вступ

На сучасному етапі створення напівпровідникових приладів підвищений інтерес викликають багатокомпонентні напівпровідники. В електроніці широко використовують потрібні з'єднання матеріалів груп  $A^m B^v$ , наприклад,  $InGaAs$ ,  $AlGaIn$ ,  $InAsP$  та інші. Одним з матеріалів, що добре зарекомендував себе при створенні гетеропереходів є трикомпонентне з'єднання арсеніду алюмінію-галію  $Al_xGa_{1-x}As$ . Параметру стехіометричного складу  $x$  відповідає певне розташування долин зонної структури [1], що визначає властивості матеріалу. З 80-х років ХХ століття тривають дослідження електричних [2-4], оптичних, теплових, механічних властивостей  $Al_xGa_{1-x}As$ .

При створенні напівпровідникових приладів і

пристроїв на основі нових матеріалів однією з основних проблем є недостатня вивченість їх властивостей. Для  $Al_xGa_{1-x}As$  досліджені транспортні властивості при високих електричних полях [5-7]. Однак не досліджено імпульсний режим поля. Метою даної роботи є дослідження дрейфових процесів в арсеніді алюмінію-галію при імпульсному впливі електричного поля. Результати чисельного моделювання нададуть інформацію про імпульсні властивості арсеніду алюмінію-галію.

#### Чисельне моделювання імпульсних властивостей $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$

Чисельний експеримент проведено із застосуванням методики, в основу якої покладено релаксаційні рівняння збереження імпульсу, енергії та кон-

центрації [8]. В [9] показано: результати моделювання ефекту «сплеску» дрейфової швидкості методом релаксаційних рівнянь «добре співвідносяться з результатами, що отримані методом Монте-Карло [10], і свідчать про те, що метод релаксаційних рівнянь придатний для моделювання як статичних, так і динамічних властивостей, маючи, порівняно з методом Монте-Карло, велику часову економічність і достатню інформативність». Розрахунки виконані на основі дводолинної  $\Gamma L$ -моделі [11]:

$$\begin{cases} \frac{dT_e}{dt} = \frac{T_e - T}{\tau_E(T_e)} + \frac{m^* \mu^2 E^2}{3k_B \tau_E(T_e)} \left( \frac{2\tau_E(T_e)}{\tau_p(T_e)} - 1 \right), \\ \frac{dv_{др}}{dt} = \frac{eE(t)}{m^*} - \frac{v_{др}}{\tau_p(T_e)}, \\ \frac{db_\Gamma}{dt} = -b_\Gamma(T_e) \cdot \lambda_{\Gamma L}(T_e) + b_L(T_e) \cdot \lambda_{L\Gamma}(T_e), \end{cases} \quad (1)$$

де  $T_e$  – електронна температура,  $T$  – температура кристалічної ґратки,  $\tau_E$  – час релаксації енергії,  $m^*$ ,  $\mu$ ,  $e$  – омічна ефективна маса, рухливість, заряд електрона,  $E$  – напруженість електричного поля,  $k_B$  – стала Больцмана,  $\tau_p$  – час релаксації імпульсу,  $v_{др}$  – дрейфова швидкість,  $b_\Gamma$ ,  $b_L$  – заселеність долин ( $b_i = n_i / (n_i + n_j)$ ;  $n_i$ ,  $n_j$  – концентрації електронів в  $i$ ,  $j$ -долинах),  $\lambda^{\Gamma L}$ ,  $\lambda^{L\Gamma}$  – швидкості міждолинного розсіювання.

Розв’язання системи рівнянь (1) проведено для кожної долини методом Рунге-Кутта 4-го порядку з використанням Mathcad, і результати усереднені з урахуванням заселеності долин:

а) сумарна швидкість розсіювання в  $\Gamma$ -долині:

$$\lambda^\Gamma(T_e) = \lambda_a^\Gamma(T_e) + \lambda_{po}^\Gamma(T_e) + \lambda_{Nd}^\Gamma(T_e) + \lambda^{L\Gamma}(T_e);$$

в  $L$ -долині

$$\lambda^L(T_e) = \lambda_a^L(T_e) + \lambda_{po}^L(T_e) + \lambda^{L\Gamma}(T_e) + \lambda^{LL}(T_e),$$

де швидкості розсіювання:  $\lambda_a$  – акустичного,  $\lambda_{po}$  – полярного оптичного,  $\lambda_{Nd}$  – на іонах домішки,  $\lambda^{\Gamma L}$ ,  $\lambda^{L\Gamma}$  – міждолинного,  $\lambda^{LL}$  – між еквівалентними долинами. Вирази для них визначалися за формулами, що наведені в [8];

б) час релаксації імпульсу

$$\tau_p^\Gamma = \frac{1}{\lambda^\Gamma(T_e)}, \quad \tau_p^L = \frac{1}{\lambda^L(T_e)};$$

в) рухливість

$$\mu^\Gamma = e \frac{\tau_p^\Gamma}{m_i^*}, \quad \mu^L = e \frac{\tau_p^L}{m_i^*}, \quad \mu = b_\Gamma \cdot \mu^\Gamma + b_L \cdot \mu^L;$$

г) омічна ефективна маса  $\frac{1}{m^*} = \frac{b_\Gamma}{m_\Gamma^*} + \frac{b_L}{m_L^*}$ .

Вихідні значення параметрів матеріалу для  $Al_xGa_{1-x}As$  (при  $x=0.225$ ) визначені з апроксимацій, описаних в [9], [12]. При дослідженні зроблено припущення, що кристалічна ґратка досліджуваного матеріалу ідеальна, отже, розсіюванням на сплавовому потенціалі можна знехтувати.

Трикомпонентний напівпровідник  $Al_xGa_{1-x}As$  можна розглядати як сплав бінарних арсенідів алюмінію (AlAs) і галію (GaAs), частка яких визначається параметром  $x$ . При зростанні  $x$  від 0 до 1 відбувається трансформація зонної структури арсеніду алюмінію-галію  $Al_xGa_{1-x}As$ , яка веде до поступової зміни властивостей з’єднання; від відповідних GaAs до властивостей AlAs.

Електричні властивості напівпровідника і динаміку електронних процесів визначають параметри зонної структури та особливості різних механізмів зіткнень, що призводять до розсіювання спрямованих потоків носіїв. Представлені на рис. 1 результати чисельного моделювання вкладу найбільш типових видів розсіювання дають кількісне уявлення про швидкість розсіювання залежно від електронної температури  $\lambda(T_e)$ . Досліджено внесок домішкового (на іонах домішки  $\lambda_{Nd}$ ) і різновидів фононного розсіювання (акустичне  $\lambda_a$ , полярне оптичне  $\lambda_{po}$ , міждолинне  $\lambda^{\Gamma L}$ ,  $\lambda^{L\Gamma}$  і розсіювання між еквівалентними долинами  $\lambda^{LL}$ ).

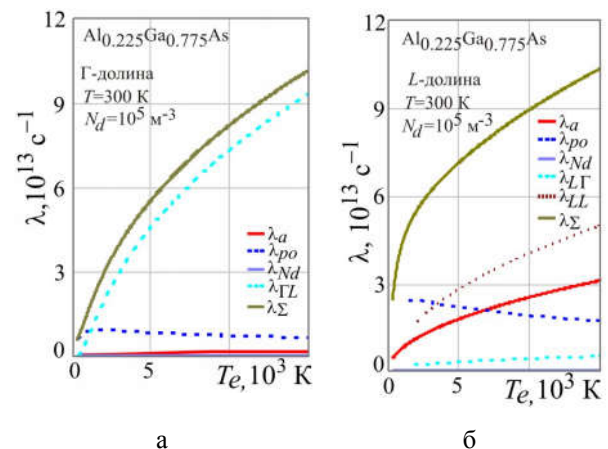


Рис. 1. Діаграма залежності швидкості розсіювання  $\lambda$  від електронної температури  $T_e$  в  $\Gamma$ -долині (а) та  $L$ -долині (б). Види розсіювання позначені:  $\lambda_a$  – акустичне,  $\lambda_{po}$  – полярне оптичне,  $\lambda_{Nd}$  – на іонах домішки,  $\lambda_{\Gamma L}$ ,  $\lambda_{L\Gamma}$  – міждолинне,  $\lambda_{LL}$  – розсіювання між еквівалентними долинами,  $\lambda_\Sigma$  – сумарна швидкість розсіювання

При концентрації домішки  $N_d = 10^5 \text{ м}^{-3}$  в  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$  домішкове розсіювання практично відсутнє. Акустичне розсіювання достатньо виражено в  $L$ -долинах. До температури  $\sim 600 \text{ К}$  поміт-

но проявляється вплив іонного зв'язку між атомами напівпровідника: з фононних механізмів розсіювання найбільший внесок має полярне оптичне розсіювання. З подальшим підвищенням температури електрона в  $\Gamma$ -долині переважає міждолинне розсіювання, а в  $L$ -долинах еквівалентне міждолинне розсіювання.

Величина рухливості носіїв заряду визначається часткою внеску різних механізмів розсіювання. На рис. 2 представлено результат розрахунку рухливості електрона в  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  при параметрах, що відповідають експерименту [13]. Спостерігається відповідність експериментальному результату.

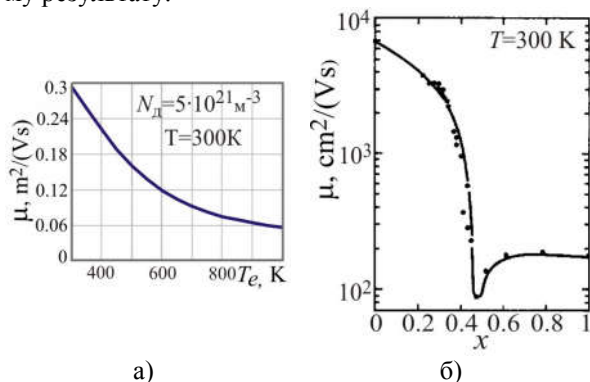


Рис. 2. Залежність рухливості  $\mu$  (при концентрації домішки  $N_d = 5 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$ ): а) для  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  від температури  $T_e$ ; б) для  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  від параметру  $x$  [13]

Розрахована поле-швидкісна залежність  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  наведена на рис. 3, а. Результат моделювання з [14] наведено на рис. 3, б. За порядком величини дрейфової швидкості  $v_{др}$  і характером залежності  $v_{др}(E)$  результати моделювання для  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  задовільно співвідносяться.

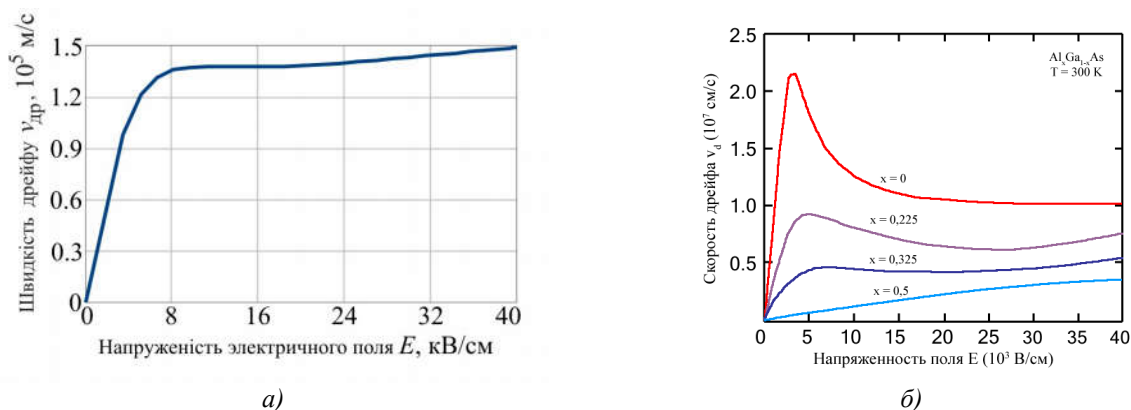


Рис. 3. Поле-швидкісна характеристика арсеніду алюмінію-галію: а) результати моделювання для  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}$ ; б) теоретична залежність  $v_{др}(E)$  для  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  при різних значеннях параметру  $x$  [14]

Зростання залежності  $v_{др}(t)$  викликано балістичним рухом електрона в електричному полі  $E$  з

Причиною розбіжності модельних поле-швидкісних характеристик  $v_{др}(E)$  є наявна в літературі істотна невизначеність в значеннях ряду констант (акустичного деформаційного потенціалу, константи міждолинного зв'язку), а також апроксимаційних співвідношень, що визначають міждолинні відстані і значення ефективних мас носіїв заряду в долинах.

Поле-швидкісна характеристика  $v_{др}(E)$  арсеніду алюмінію-галію  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  на рис. 3 відповідає статичному режиму електричного поля.

Відомо, що при стрибкоподібній зміні електричного поля спостерігається явище «сплеску» дрейфової швидкості  $v_{др}$ ; зростання величини  $v_{др}$  порівняно зі стаціонарним значенням  $v_{др}(E)$ . На рис. 4 наведена реакція на вплив імпульсу напруженості електричного поля прямокутної форми для швидкості дрейфу  $v_{др}$ , температури електронів  $T_e$ , заселеності  $\Gamma$ -долини  $b_\Gamma$ , часів релаксації імпульсу  $\tau_p$  та енергії  $\tau_E$ . Чисельне моделювання проведено для значень амплітуд імпульсу, що відповідають характерним діапазоном статичної поле-швидкісної характеристики  $v_{др}(E)$  арсеніду алюмінію-галію  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$ : 3 кВ/см відповідає «слабкому» полю; 10 кВ/см – «критичному», 15 кВ/см – режиму насичення  $v_{др}$ ; 50 кВ/см – «сильному» полю. Величину тривалості імпульсу обрано рівною 3 пс, що відповідає найбільшому інтервалу  $(3 \dots 5) \tau_E$ .

На представлений залежності  $v_{др}(t)$  (рис. 4, а) спостерігається короточасне збільшення дрейфової швидкості «сплеск» («overshoot»).

прискоренням  $eE/m^*$ . Збільшення швидкості дрейфу супроводжується розігріванням електронного газу (рис. 4, в), що створює умови для міждолин-

них переходів (рис. 4. з). Зростання заселеності верхньої долини і відповідна зміна параметрів релаксаційних процесів (рис. 4. д, 4. і) призводять до спаду залежності  $v_{др}(t)$  через час порядку  $\tau_p$ . За-

вершується динаміка явища «сплеску» дрейфової швидкості досягненням встановленого стану; величина  $v_{др}$  приймає значення, що відповідає статичній поле-швидкісній характеристиці (рис. 3).

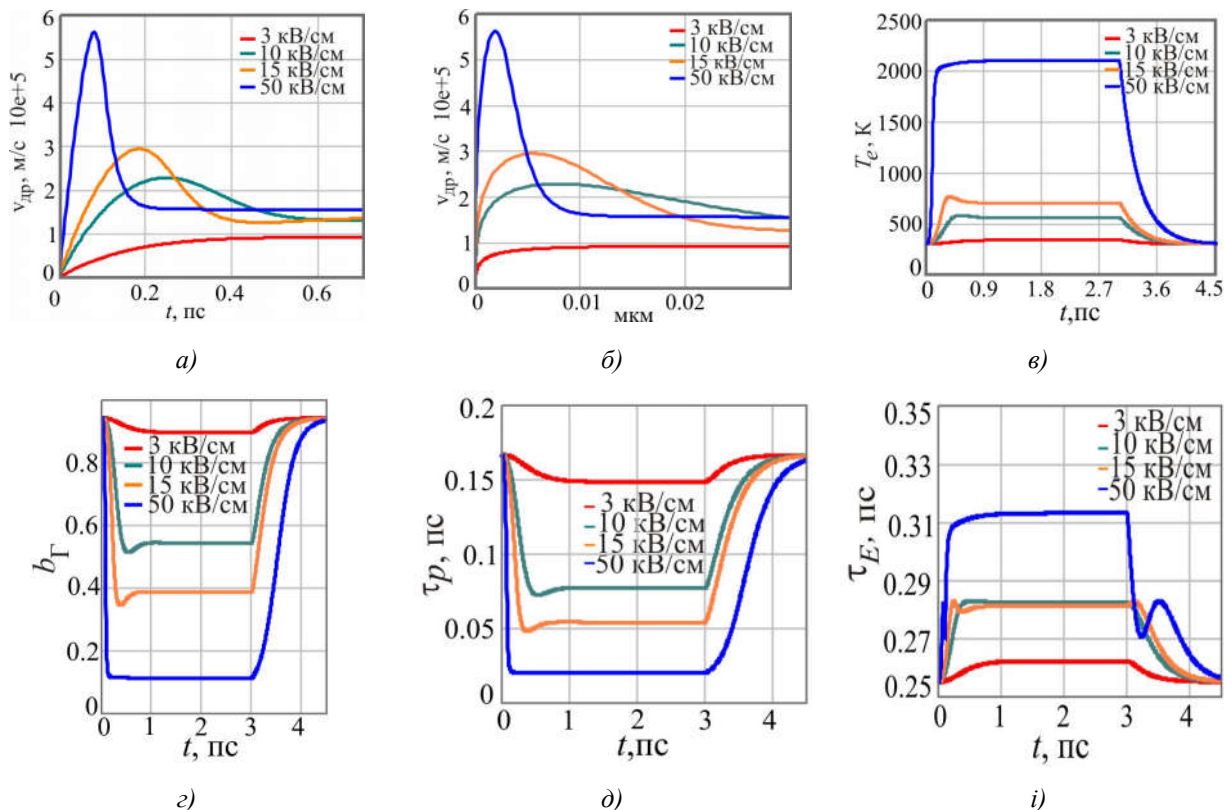


Рис. 4. Динамічний відгук на вплив прямокутного імпульсу різної амплітуди: а), б) дрейфової швидкості  $v_{др}$  (часовий та просторовий); в) електронної температури  $T_e$ ; з) заселеності Г-долини  $b_{\Gamma}$ ; д), і) часів релаксації імпульсу  $\tau_p$  та енергії  $\tau_E$

Результати чисельного моделювання (рис. 4, а, б) показують, що величина «сплеску»  $v_{др}(t)$  залежить від амплітуди імпульсу електричного поля. При збільшенні амплітуди імпульсу (від 3 до 50 кВ/см) пікові значення дрейфової швидкості зростають (в 1.1 – 4.2 разів). Поле, при якому заселеність найнижчої долини (для  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$  – Г-долини)  $b_{\Gamma} < 0.5$ , називають сильним. На залежностях  $v_{др}(t)$  (рис. 4, а) при сильному полі (понад 10 кВ/см) дуже слабо виражений ефект негативного «сплеску» («undershoot») дрейфової швидкості (зменшення  $v_{др}$  нижче стаціонарного значення). Прояв undershoot-ефекту пов'язано з різницею часів релаксації електронів, що рухаються назустріч і вздовж поля. В [15] показано, що для дослідження undershoot-ефекту потрібно застосовувати тільки метод Монте-Карло.

Для дрейфової швидкості на основі залежності  $v_{др}(t)$  і співвідношення

$$x(t) = \int_0^t v(t) dt$$

знайдено просторовий розподіл  $v_{др}(x)$  (рис. 4, б). Чисельний експеримент показав: посилення поля призводить до скорочення «балістичного пробігу» електронів.

Залежність  $v_{др}(t)$  при дії імпульсу з різною тривалістю (амплітуда 25 кВ/см) наведена на рис. 5.

- З результатів моделювання слідує:
- пікове значення дрейфової швидкості і швидкість релаксаційних процесів від тривалості імпульсу не залежать;
  - зі зменшенням тривалості імпульсу електричного поля довжина «балістичного пробігу» електрона дещо збільшується.

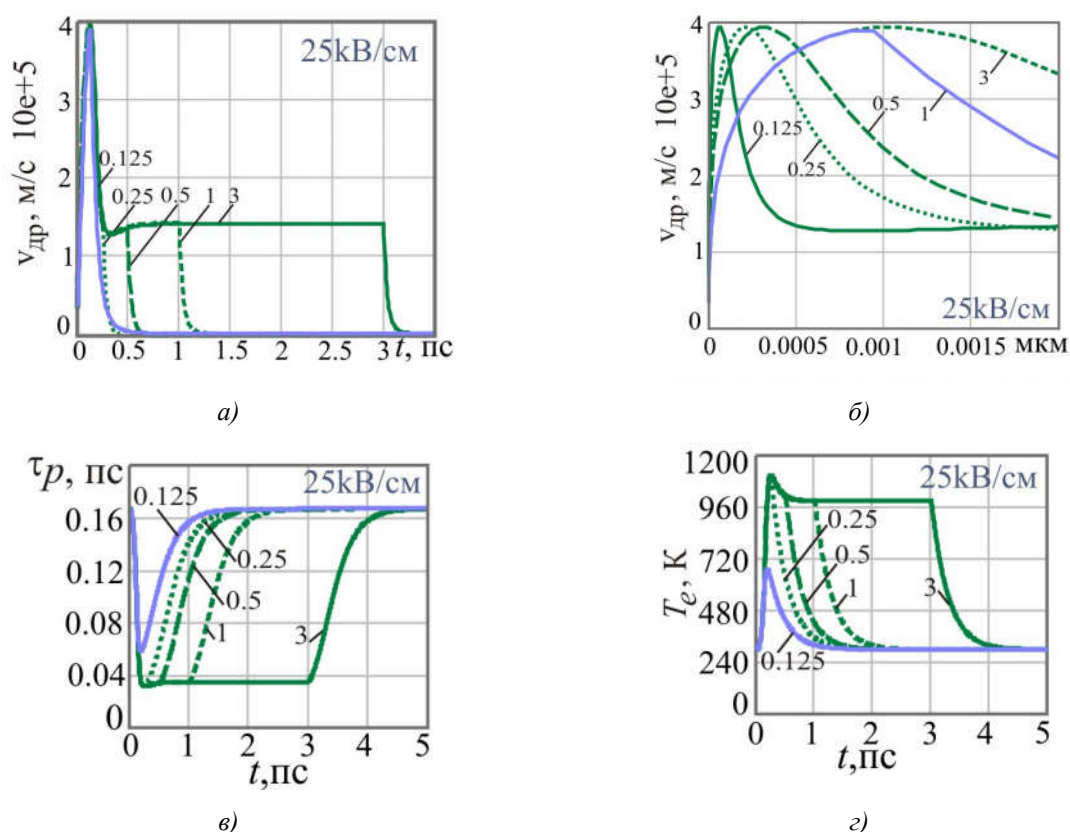


Рис. 5. Динамічний відгук на вплив прямокутного імпульсу електричного поля (амплітуда 25 кВ/см) різної тривалості: дрейфової швидкості (а, б); часу релаксації імпульсу (в); електронної температури (г)

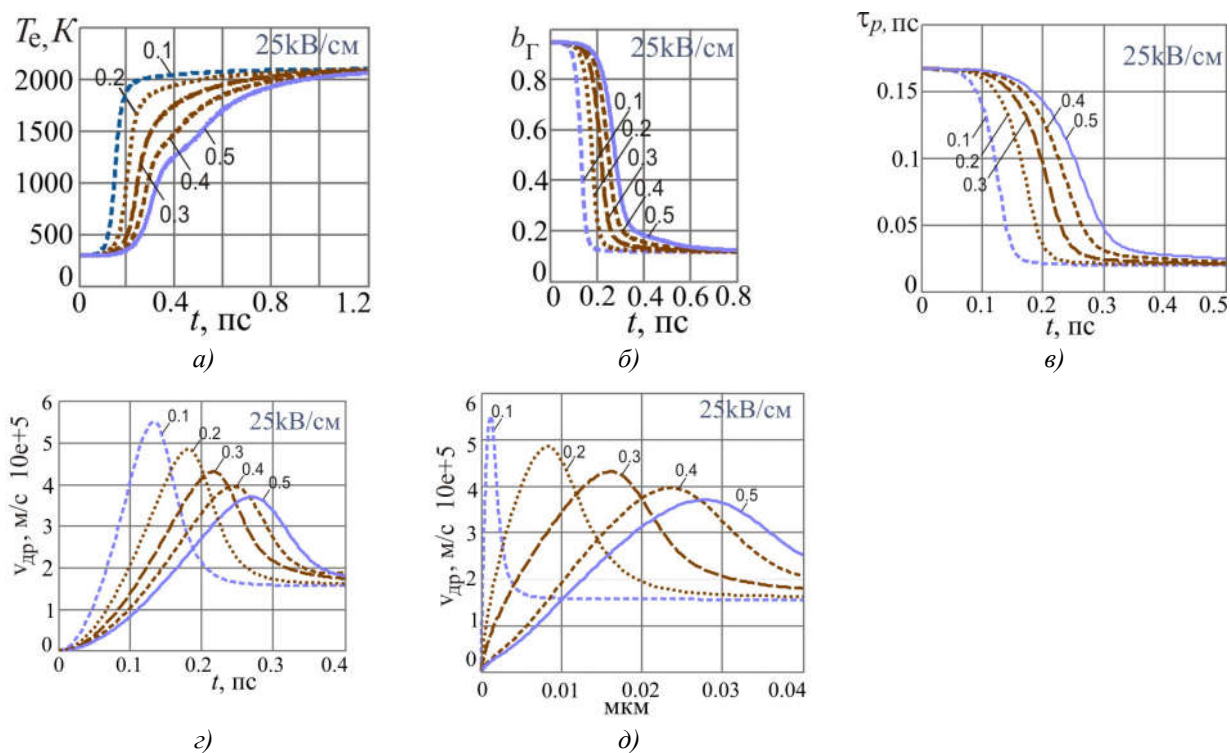


Рис. 6. Динаміка на вплив трапецеїдального імпульсу електричного поля (амплітуда 50 кВ/см) з різною тривалістю фронтів (0,1 ... 0,5 пс): швидкості дрейфу (а, б); електронної температури (в); заселеності Г-долини (г); часу релаксації імпульсу (д)

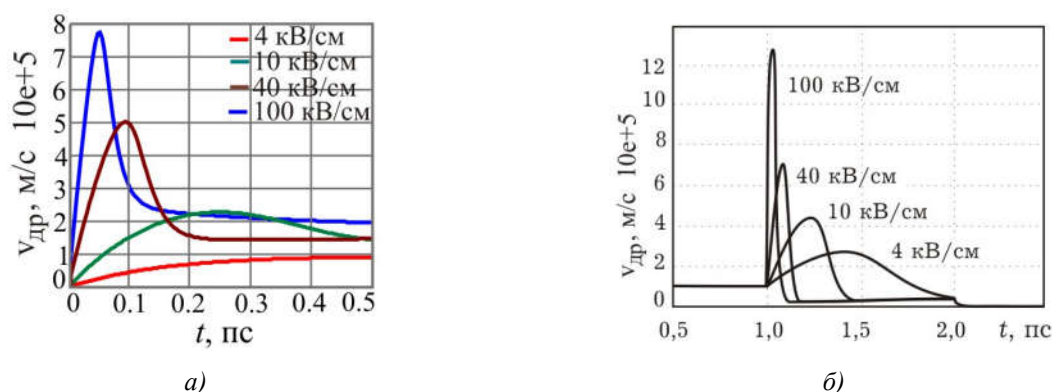


Рис. 7. Динамічний відгук дрейфової швидкості на вплив прямокутного імпульсу різної амплітуди, де: а) для  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$ ; б) для GaAs [9]

На рис. 6 представлені результати моделювання при впливі трапецеїдального імпульсу поля (амплітуда 50 кВ/см) з різною тривалістю фронту. На графіку залежності  $T_e(t)$  (рис. 6, а) зі зростанням тривалості фронту (0,1...0,5 пс) імпульсу спостерігається помітне зниження електронної температури, що є причиною більш пізнього спустошення Г-долини (рис. 6, б). З залежності  $\tau_p(t)$  (рис. 6, в) видно, що зростання тривалості фронту призводить до незначного підвищення часу релаксації імпульсу. Таким чином, плавне зростання сильного електричного поля призводить до зменшення і запізнювання пікового значення дрейфової швидкості (рис. 6, г), а також до збільшення довжини «балістичного пробігу» (рис. 6, д).

$\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  має подібну арсеніду галію (GaAs) зонну структуру, що призводить до подібності механізму виникнення «сплеску» дрейфової швидкості. На рис. 7 а представлено результати чисельного експерименту для арсеніду алюмінію-галію при значеннях амплітуд напруженості електричного поля, що відповідають параметрам моделювання в [9] (рис. 7 б). В імпульсному режимі електричного поля в арсеніді галію пікові значення  $v_{др}$  перевищують (у 1,1–1,7 разів); довжина «балістичного пробігу» електронів на порядок вища відповідних арсеніду алюмінію-галію.

### Висновки

Для розрахованої рухливості електронів, що враховує найбільш типові механізми розсіювання та особливості зонної структури матеріалу, отримано хорошу відповідність експерименту. Експериментальна рухливість лише побічно підтверджує динаміку процесів.

Результатом стрибкоподібної зміни сильного електричного поля в  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  є короткочасний «сплеск» дрейфової швидкості. Зростання амплітуди прямокутного імпульсу сильного електричного поля призводить до зростання пікового значення, скорочення тривалості «сплеску»  $v_{др}$ . Най-

більше значення дрейфової швидкості ( $6,5 \cdot 10^5$  м/с) отримано в найсильнішому полі (50 кВ/см) чисельного експерименту. Проведені розрахунки показали, що тривалість імпульсу, який за величиною перевищує  $\tau_p$ , не впливає на пікове значення дрейфової швидкості. Плавне наростаюче поле (збільшення тривалості фронту імпульсу) призводить до зменшення  $v_{др}$ . З точки зору швидкодії трикомпонентний напівпровідник  $\text{Al}_{0.225}\text{Ga}_{0.775}\text{As}$  поступається арсеніду галію.

З огляду на особливості зонної структури  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ , доцільно проведення дослідження імпульсних властивостей в сильних електричних полях при  $x = 0,45$ .

### Література

- [1] A. K. Saxena, *J. Phys. C*, vol. 13, no. 23, pp. 4323-4334, 1980.
- [2] W. C. Liu, *J. Material Sci.*, vol. 25, no. 3, pp. 1765-1772, 1990.
- [3] D. C. Look, D. K. Lorance, J. R. Sizelove, C. E. Stutz, K. R. Evans, D. W. Whitson, *J. Appl. Phys.*, vol. 71, no.1, pp. 260-266, 1992.
- [4] K. Brennan, K. Hess, *J. Appl. Phys.*, vol. 59, no. 3, pp. 964-966, 1986.
- [5] G. Hill and P.N. Robson, *J. de Physique*, 42, Colloque no.7, Suppl. au no. 10, pp. C7-335 - C7-341, 1981
- [6] S. Nava, M. Auslender, *J. Appl. Phys.*, vol. 73, no. 11, pp. 7431-7434, 1993.
- [7] D. Lippens, O. Vanbesien, in *GaAs and Related Compounds* (Inst. of Phys., Bristol and Philadelphia, Ser. 91), pp. 757-760, 1987.
- [8] В. О. Москалюк, *Фізика електронних процесів. Динамічні процеси*. Київ, Україна: Політехніка, 2004.
- [9] В. О. Москалюк, В. І. Тимофеев та А. В. Федяй, *Надшвидкодійні прилади електроніки*. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2014.
- [10] U. V. Bhapkar and M. S. Shur, "Monte Carlo calculation of velocity-field characteristics of

- wurtzite GaN", *J. Appl. Phys.*, vol. 82, no. 4, 1649-1655, 1997.
- [11] T. Saurova and D. Kuzmenko, "IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (Elnano). CONFERENCE PROCEEDINGS," Research of the AlGaAs impulse properties, Kyiv, Ukraine, April 24-26, 2018.
- [12] Ioffe Physico-Technical Institute, "New Semiconductor Materials. Characteristics and

- Properties":  
<http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/AlGaAs>
- [13] A. K. Saxena, *Phys. Rev.*, vol. B24, no. 6, pp. 3295-3302, 1981.
- [14] S. Hava and M. Auslender, *J. Appl. Phys.*, vol. 73, no. 11, pp. 7431-7434, 1993.
- [15] М. Шур, *Современные приборы на основе арсенида галлия*. Москва, Россия: Мир, 1991.

УДК 621.382.3

**Т. А. Саурова, В. О. Борс**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина*

### СВОЙСТВА АРСЕНИДА АЛЮМИНИЯ-ГАЛЛИЯ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Исследованы наиболее типичные механизмы рассеяния электронов в арсениде алюминия-галлия, на основе которых рассчитана подвижность носителей заряда. Показано, что результат моделирования подвижности хорошо соответствует эксперименту. Исследовано влияние эффекта «всплеска» дрейфовой скорости носителей заряда на импульсные свойства. Для  $Al_xGa_{1-x}As$  (при  $x = 0.225$ ) проведен численный эксперимент по влиянию на распределение дрейфовой скорости (временное и пространственное) параметров импульса электрического поля: амплитуды напряженности поля, длительности импульса и величины переднего фронта. Проведено сравнение импульсных свойств арсенида алюминия-галлия  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$  и арсенида галлия GaAs. Показано, что по быстрдействию трехкомпонентный полупроводник  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$  уступает арсениду галлия.

**Ключевые слова:** арсенид алюминия-галлия; AlGaAs; импульсные свойства; эффект «всплеска» дрейфовой скорости.

УДК 621.382.3

**T. Saurova, V. Bors**

*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

### PROPERTIES OF THE ALUMINUM-GALLIUM ARSENIDE IN THE PULSED ELECTRIC FIELD MODE

In the development of modern semiconductor devices are increasingly used multicomponent semiconductors. One of the well-proven ternary compounds of the materials of the group  $A^{III}B^V$  is aluminum-gallium arsenide  $Al_xGa_{1-x}As$ . For  $Al_xGa_{1-x}As$  the transport properties in high electric fields have been investigated. One of the problems is the insufficient knowledge of the transport properties of charge carriers in a pulsed field mode.

The purpose of the paper is to study the drift processes during the pulsed mode of the electric field in aluminum-gallium arsenide  $Al_xGa_{1-x}As$  (at  $x = 0.225$ ).

The modeling was carried out on the basis of the relaxation equations for the conservation of momentum, energy and concentration. Using the two-valley  $\Gamma$ -model, calculations were performed for each valley and averaged taking into account their population. The most typical electron scattering mechanisms have been researched: impurity (at neutral atoms and impurity ions) and phonon (acoustic, optical, and inter-valley). The temperature dependence of the pulse scattering rates was analyzed, and the electron mobility was calculated. It is shown that the result of the mobility simulation is in a good agreement with the experiment. The effect of the "overshoot" of the drift velocity is investigated. For  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$ , a numerical experiment was conducted on the effect of the electric field pulse parameters on the drift velocity: amplitudes of the field strength, pulse duration, and front magnitude.

It is shown that the pulse-like change of the field leads to a short "overshoot" of the drift velocity. Greater field amplitude corresponds to an increase in the maximum value of the drift velocity. However, this is accompanied by a reduction in the time for which the effect of the "overshoot" appears. The pulse duration of the electric field does not affect the peak value of the drift velocity. The increase of the pulse front duration leads to a significant decrease in the transport properties in strong electric fields. A comparison is made of the peak values of the drift velocity and the length of the "ballistic range" of the electron in aluminum-gallium arsenide  $Al_{0.225}Ga_{0.775}As$  and gallium arsenide GaAs.

**Keywords:** aluminum-gallium arsenide; scattering rate; impulse properties; the effect of the drift velocity "overshoot".

*Надійшла до редакції  
 20 лютого 2019 року  
 Рецензовано  
 01 березня 2019 року*